Hans Christian Ørsted: psico-socio-génesis del origen de un instrumento que dio origen a una nueva teoría



Luis Mauricio Rodríguez-Salazar
[1]*CIECAS, Instituto Politécnico Nacional, Calle Lauro Aguirre No.120. Colonia Agricultura, CP 11360, Ciudad de México.*

E-mail: luismauriciors@gmail.com

(Received 28 May 2016, accepted 2 October 2016)

Resumen
El artículo presenta la propuesta del origen común de un nuevo instrumento y un nuevo fenómeno en ciencia, tomando como caso de estudio el origen de la teoría electromagnética propuesta por el filósofo de la naturaleza de origen danés Hans Christian Ørsted. La mayoría de los análisis históricos, filosóficos y epistemológicos hacen referencia al origen de los instrumentos como producto de la teoría, enfocándose a su uso, sin indagar más sobre su origen. La propuesta en este artículo es a la inversa: que los instrumentos dan forma y estructura a las nuevas teorías, tomando como caso de estudio el electromagnetismo. De manera específica, se analiza el proceso psicogenético mediante el cual Ørsted llegó a la conclusión de que el circuito de su aparto tenía que estar cerrado sobre sí mismo para que la electricidad se pudiera comportar como si fuera un imán. A esta conclusión llegó siguiendo dos líneas de investigación de forma paralela: el desarrollo de aparatos con mayor capacidad de producción de electricidad y el estudio de su conducción en diferentes metales utilizado alambres de diferente calibre. El cierre del circuito sobre sí mismo se logró al quedar unidos los alambres que estaban conectados a cada uno de los polos del aparto y el alambre que utilizada como medio conductor de la electricidad. Así, el proceso psicogenético seguido por Ørsted en su trabajo experimental, dio paso a un proceso socio-genético cuando la comunidad científica reprodujo sus experimentos. Con este caso de estudio, en el artículo se invita a docentes y discentes de física a la reflexión epistemológica, tomando la historia de la ciencia como laboratorio.

Palabras clave: Instrumentos Científicos, Psicogénesis en Física, Laboratorio Epistemológico.

Abstract
In this paper we analyze the origin of both; new instrument and new phenomenon in science. For this analysis we taking as study case the origin of electromagnetic theory proposed by the Danish philosopher of the nature Hans Christian Ørsted. Commonly historians and philosophers refer to the origin of the instruments as a result of the theory, focusing on its use, without inquiring more about its origin. Using as study case electromagnetism, we propose a contrary flow: that the instruments give shape and structure to new theories. Specifically we analyze the psychogenetic process by which Ørsted concluded that the circuit of the apparatus had to be closed on itself, as a condition by the electricity could behave as it is a magnet. Ørsted reached to this conclusion following two simultaneous lines of research: developing devices with greater capacity for electricity production and the study of their driving on different metals, using wires of different calibers. The closing of the circuit on itself was achieved joining wires that were connected to each of the poles of the apparatus and the wire used as conductive medium of electricity. Thus, the psychogenetic process followed by Ørsted in his experimental work gave way to a socio-genetic process when the scientific community repeated their experiments. Following this study case, with the article we invited teachers and students of physics to an epistemological reflection, taking the history of science as a laboratory.

Keywords: Scientific Instruments, Psychogenesis in Physics, Epistemological Laboratory

PACS: 01.30.-y, 01.30.Ee, 01.30.Tt **ISSN 1870-9095**

I. INTRODUCCIÓN

Justo al inicio su reporte *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*, publicado como facsímil el 21 de julio de 1820, Ørsted señala que "una aguja magnética puede ser movida de su posición por medio de un aparato galvánico, pero por un circuito galvánico cerrado, no uno abierto [*idque circulo galvanico cluso, non aperto*], como varios muy célebres físicos trataron en vano hace algunos años" [1]. Los célebres físicos a los que se refiere Ørsted estaban inmersos en la disputa sobre la semejanza y la disparidad entre la electricidad y el magnetismo, estando la mayoría de ellos a favor de la disparidad. Esta disputa la destacó Ørsted en su relato histórico publicado en 1830, al que haremos referencia en este artículo como un Estudio del Estado del Arte sobre el descubrimiento del electromagnetismo, el cual fue realizado por su propio descubridor (Ørsted) diez años después.

Antes de llegar a la conclusión de que el circuito de su aparato galvánico tenía que estar cerrado y no abierto, Ørsted llevó a cabo una gran cantidad de experimentos en dos líneas de investigación íntimamente relacionadas: la creación de nuevos aparatos productores de electricidad galvánica; y el estudio de su transmisión a través de alambres metálicos que servían de medio conductor de las descargas del aparato galvánico. En el segundo párrafo de su facsímile en latín [1], Ørsted menciona que debería omitir en su reporte todos los experimentos que lo llevaron a su descubrimiento, ya que una vez descubierto no arrojaban ninguna luz sobre el tema.

No obstante que en ese tiempo ya existía una gran cantidad de revistas tanto de física como de química, el reporte de los resultados de sus experimentos lo escribió en latín como facsímil y lo repartió entre algunos colegas. Su reporte se dio a conocer a la comunidad científica de su tiempo, cuando fue traducido al danés, alemán, francés e inglés, publicado en revistas tanto de física como de química. De todas esas traducciones el legado que quedó para la posteridad fue la traducción al inglés hecha por el propio Ørsted, la cual fue publicada en la revista *Thomson´s Annals of Philosophy* en octubre del mismo año. En dicha traducción, él mismo omitió ese segundo párrafo en el que hace referencia a los experimentos previos a su reporte del 21 de julio de 1820 [1, 2, 7, 8].

Por lo tanto, la principal aportación de este artículo es presentar el análisis de lo que se considera fueron los experimentos a los que hizo referencia Ørsted en su trabajo en latín [1, 7] y que omitió en su traducción al inglés [2, 8], que abarca veinte años de trabajo experimental. Esta labor pudo ser posible gracias a la edición de Karen Jelved, Andrew D. Jackson y Ole Knudsen [3] de la selección de los trabajos científicos de Ørsted, la cual fue publicada en 1998. Antes de esta extraordinaria obra, se contaba con los tres volúmenes editados por la doctora Christine Meyer [4] de la colección de los trabajos científicos de Ørsted, publicados en 1920 con motivo de la celebración del centenario del descubrimiento del electromagnetismo. Como lo señalan Jelved, Jackson y Knudsen, la obra de Christine Meyer fue auspiciada por la *Royal Danish Academy of Science and Letters*, la cual contó con el apoyo de Niels Bohr. No obstante, dicen, ésta no ha sido apreciada ni reconocida.

La selección hecha por Jelved, Jackson y Knudsen contiene dos terceras partes de la obra científica de Ørsted escritos originalmente en danés, alemán, francés, inglés y latín, que eran los idiomas que hablaba y en los que escribía Ørsted. Todos estos trabajos fueron traducidos al inglés, excepto, obvio, los que fueron escritos originalmente en en ese idioma. Tomando como base este material, en este artículo se presentan los resultados del análisis del significado epistemológico de los instrumentos científicos, desarrollando una propuesta, no de historia de la ciencia, sino considerando la historia de la ciencia como un laboratorio para la experimentación epistemológica. La base teórica de la propuesta es el proceso psico-socio-genético del trabajo experimental de Ørsted, entendido como un proceso cognitivo individual que se socializa, el cual es planteado en el marco de una propuesta teórica propia: la epistemología de la imaginación [5].

En el marco de esta propuesta, en el primer apartado se presentan las bases teóricas de la disputa sobre la semejanza y la disparidad entre la electricidad y el magnetismo. En el segundo apartado se presentan las investigaciones de Ørsted referentes a la mejora de los instrumentos productores de electricidad galvánica. En el tercer apartado se describen sus investigaciones sobre la transmisión de la electricidad galvánica al interior de diferentes medios, principalmente alambres de diferentes metales y diferente calibre. En el último apartado se presenta el aparato galvánico de Ørsted como extensión de sus acciones cognitivas: el proceso psicogenético de la creación artificial del fenómeno magnético. En las conclusiones se hace una reflexión epistemológica con la que se invita a los docentes y los discentes de física a unirse a esta importante labor dentro del proceso educativo.

II. ELECTRICIDAD VERSUS MAGNETISMO: SEMEJANZA VERSUS DISPARIDAD

El problema acerca de la disputa sobre la semejanza y la disparidad entre la electricidad y el magnetismo estaba muy lejos de ser algo sencillo: en la semejanza radicaba su disparidad y viceversa. Los que optaban por su semejanza apelaban a que: “cada uno de ellos consistía de dos poderes de naturaleza opuesta, sometidos a las mismas leyes de atracción y repulsión” [6]. Los que optaban por la disparidad señalaban que sus polaridades eran distintas en cuanto a “la distribución de sus poderes dentro de los cuerpos” [6]. En cambio, en lo que todos estaban de acuerdo era que sabían que los cuerpos transmitían con facilidad la “acción” magnética, pero que no todos los cuerpos transmitían la “acción” eléctrica. Sin embargo, la disparidad más evidente, que es en lo que no había duda, era que la pila voltaica y el imán eran de naturaleza diferente.

Por ser de naturaleza diferente, no había por que ponerlos a actuar uno sobre el otro, pero la naturaleza había mostrado que la electricidad, a través de los relámpagos, producía un efecto magnético momentáneo en las brújulas de los navíos, lo cual fue reportado en las *Philosophial Transactions* desde finales del siglo XVIII. Por lo tanto, Ørsted puso a actuar la electricidad producida por su aparato galvánico, sobre la aguja magnética de una brújula. Para ello, colocó, en cada uno de los extremos del alambre metálico que servía de medio conductor de la electricidad, los alambres metálicos conectados a los polos positivo y negativo del aparato.

El supuesto del que partía Ørsted era que la incandescencia del alambre, producida por el paso de la electricidad galvánica, produciría un efecto magnético. Para ello llevó a cabo los experimentos a los que hizo referencia en su reporte en latín y que después elimino al traducirlo al inglés, que son el motivo de este artículo.

Como se señaló en la introducción, dichos experimentos los llevó a cabo bajo dos líneas de investigación: la creación de nuevos aparatos para mejorar la electricidad galvánica; y

la transmisión de dicha electricidad a través de los alambres metálicos que servían de medio conductor. El objetivo del artículo es resaltar que ambas investigaciones confluyeron en la unión de los alambres metálicos que conectaba los polos positivo y negativo del aparato, con el alambre que servía de conductor de la electricidad, lo cual ocasionó el cierre del circuito sobre sí mismo.

Como se verá en este artículo, no fue la incandescencia del alambre la que produjo el efecto magnético buscado por Ørsted, sino todo lo contrario, lo encontró en aquellos alambres en los que no se lograba la incandescencia. Tal vez por eso, en el segundo párrafo de su publicación en latín, menciona que omitiría en su reporte todos los experimentos que si bien lo llevaron a su descubrimiento, una vez descubierto no arrojaban ninguna luz sobre el tema. Esto se debió a que el resultado era contrario a lo que él esperaba, como lo expresa en el siguiente párrafo de su facsímil en latín:

> *In experimentis recensendis omina praæteribo, quæ ad rationem rei inveniendam quidem conduxerunt, hac autem inventa rem amplius illustrare nequeunt; in eis igitur, quæ rei rationem perspicue demostrant, acquiescamus* [1].

En la traducción del latín al inglés Ørsted omitió todo este párrafo, lo cual se puede apreciar en la reproducción que hizo Sarton del facsímil en latín [7] y la traducción al inglés realizada del propio Ørsted [8], publicada en *Annals of Philosophy* en octubre del mismo año [2]. Karen Jelved hizo la traducción al inglés directamente del párrafo en latín del facsímil de Ørsted:

> In reporting these experiments, I shall omit all those which have undoubtedly led to the discovery of the nature of the matter, but which, once this had been discovered, could not further illuminate the subject; we shall therefore content ourselves with those things which clearly demonstrate the nature of the matter [9].

La hipótesis en este artículo es que los experimentos a los que se refiere Ørsted en este párrafo son los que realizó bajo las dos líneas de investigación señaladas anteriormente y que confluyeron en el cierre del circuito sobre sí mismo. Para ello se hace una reconstrucción epistemológica, ya que Ørsted nunca explicó cómo llegó al cierre del circuito de su aparato galvánico. De la reconstrucción realizada, se infiere que en su aparato galvánico el alambre que antes era utilizado para estudiar la conducción de la electricidad galvánica (el alambre conductor), se unió a los alambres que estaban conectados a los polos positivo y negativo del aparato, los llamados alambres conectores, como se acaba de señalar. La inferencia está basada en el señalamiento que hace Ørsted en su reporte en latín, de que ambos alambres quedaron formando un solo alambre al que le dio el nombre de conductor de unión (*conductorem conjungentem*), o bien, como él mismo señala, simplemente será llamado, dice, alambre de unión (*filum conjungens*).

Este alambre de unión, al tiempo que cerró el circuito sobre sí mismo, creó un nuevo fenómeno a su alrededor, lo cual si menciona explícitamente Ørsted. Cabe hacer la aclaración de que no se llegó a dicha inferencia de manera simple, sino que se tuvo que hacer una reconstrucción de su trabajo experimental de 1801 a 1811 y de 1812 a 1820. Al respecto, Andrew Wilson, en la introducción a la edición de Jelved, Jackson y Knudsen, justo al inicio señala que es difícil de explicar por qué los historiadores de la ciencia no han desentrañado cómo y por qué llegó al descubrimiento del electromagnetismo. Sin embargo, como ya se mencionó, este artículo no es un trabajo de historia de la ciencia, sino que se toma la historia de la ciencia como laboratorio para analizar el significado epistemológico de los instrumentos científicos creados en su trabajo experimental.

Se presenta entonces un breve resumen de las bases teóricas de las dos líneas de investigación llevadas a cabo por Ørsted después de la invención de la pila voltaica. La primera de ellas iba encaminada a la explicación de su funcionamiento desde la química, mientras que la segunda iba encaminada a investigar la transmisión de la electricidad galvánica en los medios conductores en los que se efectuaba la descarga. La primera línea de investigación, de acuerdo con las bases teóricas de aquel momento, iba encaminada al estudio de las reacciones químicas producidas por el circuito interno de la pila, formado por las series de placas de cobre y de zinc unidas por un medio húmedo. Se buscaba entonces mejorar la tensión de la pila, que en términos actuales significa que se buscaba mejorar el voltaje.

En cambio, decir que la segunda línea de investigación iba encaminada a mejorar el amperaje es un anacronismo, dado que Ørsted lo que buscaba era tener evidencia experimental de su teoría del conflicto eléctrico. Lo que se investigaba entonces era la transmisión de la electricidad en el medio conductor, que era un proceso de flujo de las cargas, diferente al producido por la reacción química al interior del aparato. La descarga entonces estaba en función del circuito externo formado por los alambres conectados a los polos positivo y negativo de la pila (los alambres conectores), y el medio conductor que los unía, en este caso, un alambre metálico al que se le daba el nombre de alambre conductor. Ambas líneas estaban íntimamente relacionadas, ya que para comprobar las mejoras en la tensión, es decir, la reacción química en el circuito interno de la pila, era a través de la reacción producida por la descarga en el medio conductor externo.

De manera inversa, cualquier intento de mejora de la transmisión de la electricidad en el medio conductor externo producido por la descarga, implicaba una mejora en la reacción química en el circuito interno de la pila. En este contexto histórico se llevaron a cabo las dos líneas de investigación que guiaron el trabajo experimental de Ørsted en electricidad galvánica y la conducción de sus descargas a través de diversos medios conductores. No se trata de una interacción entre ambas, sino de la evolución de ambas líneas de investigación bajo un origen común: una co-evolución que las integró dando origen a un nuevo

instrumento. El análisis va dirigido a mostrar la manera en la que ambas líneas de investigación confluyeron de manera natural en la construcción de un instrumento diferente a la pila de Volta: el aparato galvánico de Ørsted.

Al decir que estos trabajos convergieron de manera natural, es porque la evolución simultánea de las dos líneas de investigación bajo el mismo origen, convergieron igualmente de manera simultánea en una sola línea de investigación. La línea de investigación convergente, es decir, ya como una sola línea, se refiere a que la mejora en la producción de electricidad galvánica bajo la hipótesis de su transmisión como alternancia de ondulaciones positivas y negativas atraídas mutuamente, se vinculaba directamente con la resistencia opuesta a su conducción por los alambres de diferentes metales y diferente calibre.

Ambas investigaciones convergieron en 1812 en su teoría del conflicto eléctrico, proponiéndolo como un fenómeno físico basado en leyes de la química [10]. La teoría del conflicto eléctrico entonces, es la teoría de la transmisión de la electricidad en forma ondulatoria, que en ese momento no era concebida como tal, lo cual fue publicado en un trabajo reciente [11], proponiéndolo como la celebración del primer bicentenario del trabajo científico-experimental de Ørsted con el que se busca reivindicarlo. El segundo bicentenario se celebrará en el año 2020, que es cuando se cumplen doscientos años de la publicación de su facsímil en latín.

III. MEJORAMIENTO DE LA ELECTRICIDAD GALVÁNICA

Las investigaciones de Ørsted en electricidad galvánica iniciaron en 1801, con la modificación tanto de los materiales de construcción, como del medio conductor interno de la pila voltaica, mejoras que ponía a prueba al investigar su transmisión al interior de alambres de diferentes metales y diferente calibre. Ambas investigaciones estaban íntimamente relacionadas, que para nuestros fines epistemológico las separaremos, iniciando con el análisis de sus investigaciones en electricidad galvánica construyendo nuevos aparatos, partiendo de la pila voltaica. La pila voltaica estaba originalmente compuesta por tazones, en los que se sumergían placas de zinc y cobre en una solución salina. En su lugar, Ørsted utilizó tubos de vidrio con ácido sulfúrico diluido, y como metales utilizó plomo, plata y hierro.

> Para este propósito he elegido 7 tubos de vidrio, curvados aproximadamente en forma de **V**, en los que he colocado un poco de amalgama de plomo y vertí ácido sulfúrico diluido en uno de los tubos. Ahora uní estos tubos con conductores, cada uno de los cuales consistió de dos partes, una de plata, la otra de hierro: los conductores de hierro estuvieron en contacto con la amalgama, los conductores de plata con el ácido. Naturalmente, este dispositivo no produjo un efecto perceptible al no tener lugar aquí una oxidación perceptible, pero cuando coloqué una pequeña pieza de zinc en cada uno de los tubos que contenían ácido sulfúrico, obtuve el efecto galvánico, el cual apareció en la generación de gas en los tubos de vidrio con agua, conectados por medio de conductores, así como en la sensación creada en la lengua [12].

El debate suscitado con la creación de la pila voltaica fue la explicación de su funcionamiento a partir del contacto entre los dos metales, en donde el medio conductor sólo servía de vehículo, como sostenía Volta. Se consideraba también que la base de su funcionamiento era la reacción química producida por la solución utilizada como medio conductor interno, como lo proponía Davy. En cambio Ørsted no puso en contacto las placas metálicas, al contrario, evitó todo contacto entre la superficie de los metales al colocar el tubo en forma de **V** descrito en la cita anterior, dando prioridad a la reacción química entre los metales y la solución, permitiéndole probar, con diversos metales, la reacción química de diversas soluciones. Plantear este cambio en la estructura original de la pila voltaica permite mostrar que la configuración imaginada, confeccionada en el diseño del experimento, fue materializada al ser construido un aparato que ya era diferente a la pila voltaica. No se trató de un simple salto de la imaginación a la realidad, debido a un momento de iluminación que tuvo Ørsted, referido como un misticismo científico-religioso, lo cual fue discutido en trabajos recientes [5, 10]. Se trata de un largo proceso psicogenético, en el que las acciones evocadas de la experiencia simbólico-imaginativa le dan forma, en la imaginación, a las realidades posibles expresadas en el diseño experimental.

En el mismo año de 1801, en otro grupo de experimentos [13, 14, 15], en lugar de tazones Ørsted utilizó nuevamente tubos de vidrio buscando incrementar aún más la tensión de la pila, es decir, el voltaje. Con tal fin en vez de 7 uso 30 tubos, con lo cual el efecto era más fuerte, dice Ørsted: “me pareció se iba al doble […] por el hecho de que la batería generó más gas […] y el efecto sobre los sentidos fue también mucho más fuerte” [13]. Recordemos que la manera de detectar las mejoras en la tensión de la pila era a través de la reacción química producida en el medio conductor externo. El medio utilizado fue el agua, por lo tanto el gas al que se refiere Ørsted era el hidrógeno y oxígeno. Por lo tanto, para detectar la descarga y medir su intensidad no podía ser utilizado el electrómetro, lo cual es una diferencia significativa con las máquinas eléctricas y las botellas de Leiden a diferencia de la pila voltaica. En 1801 continúa con sus experimentos en galvanismo [14] y para 1804 propone el modelo galvano-químico, utilizando ahora dos medios líquidos y tres metales [15].

Dos de los metales los coloco juntos y el otro en la parte de enfrente, el cual quedo separado de los otros metales por dos medios líquidos. Con este experimento, su intención, por el momento, como él mismo señaló, era convencerse a sí mismo de que el circuito galvánico es derivado de fuerzas químicas. Este circuito galvánico interno le sirvió a Ørsted para analizar las fuerzas eléctricas como fuerzas químicas. Después de este análisis, comparo la electricidad galvánica

con lo que él llamaba electricidad friccional, la electricidad producida por las máquinas eléctricas. Asimismo, comparo la electricidad galvánica con la electricidad por contacto, la electricidad producida por las botellas de Leiden, llamadas por Ørsted baterías eléctricas, las cuales hoy conocemos como condensadores.

Para Ørsted, al igual que para todos los filósofos de la naturaleza de su tiempo, la electricidad producida por la pila voltaica era igual a la producida por las máquinas y las baterías eléctricas, por lo que para lograr dicho efecto se requería de descargas similares a las que proporcionaban tanto las máquinas eléctricas como las botellas de Leiden, ya que la descarga de la pila era notablemente menor. Por lo tanto sus investigaciones en electricidad galvánica lo llevaron a la modificación del medio conductor interno de sus aparatos. Agregó entonces ácido sulfúrico al agua utilizada como medio húmedo para mejorar la reacción química del circuito interno de la pila. Según Bern Dibner, Ørsted "en 1803, simultáneamente con Davy descubrió que los ácidos incrementaban la fuerza de la batería voltaica más que las sales" [13]. También se había logrado incrementar el "poder" del aparato al calentar la solución en la que se sumergían las placas en los baldes. De los diversos experimentos llevados a cabo por Ørsted, se seleccionó uno que combinaba las dos modificaciones: agregar ácido sulfúrico al agua y calentar la solución.

Se trata de un experimento en el que se requería una intensa descarga, ya que el medio conductor externo era el mercurio, no un alambre metálico. Fue así que diseñaron un recipiente de cobre con características similares a las de una tetera, es decir, en forma cilíndrica con una chimenea al centro. Su objetivo fue elevar aún más la temperatura de la solución. La descripción de Ørsted del aparato ya construido por el artesano es la siguiente:

> A manera de explotar la influencia benéfica del efecto galvánico de una temperatura elevada, hemos instalado otro dispositivo el cual es muy ventajoso a gran escala, pero que se podría volver demasiado caro y algo inflamable a pequeña escala. Se trata de un cilindro de cobre, el cual tiene una capacidad de 18 cubos Daneses y una chimenea, la cual está equipada con una rejilla en el fondo. Todo el cilindro reposa sobre patas de cristal. Las columnas de cristal que hacen las veces de patas, están adheridos por pura fricción a tres tubos soldados al fondo con un arco de cobre, el cual conecta un cilindro de zinc con el cilindro de cobre. Este cilindro está compuesto de varias piezas porque fue difícil lograr un cilindro tan largo de una sola pieza, además de que no pudimos obtener rollos de zinc. No hemos hecho éste aparato con más de 6 elementos, pero éstos son suficientes para producir enormes efectos [17].

Este nuevo aparato producía una descarga suficiente para llevar a cabo los experimentos en los que se utiliza el mercurio como medio conductor externo, no un alambre metálico. Sin embargo, para llevarlos a cabo se requería de un recipiente para calentar el mercurio. En virtud de que el paso de la incandescencia a la evaporación en el mercurio es muy estrecho (recordemos que Ørsted buscaba la incandescencia del alambre conductor), se requería de un diseño especial. Este nuevo aparato, con su dispositivo para calentar el mercurio, les permitió crear un nuevo tipo de fenómeno: el punto de encuentro entre el calentamiento y la evaporación del mercurio a través de una chispa, ya que en el mercurio no se presenta la incandescencia.

El recipiente fue un tubo de vidrio en forma de U, el cual era llenado con mercurio. En la parte superior del lado derecho de la U, justo antes de una de las desembocaduras, el tubo era de grosor capilar. Con este dispositivo, dice Ørsted, "si el largo circuito galvánico fuera cerrado por el mercurio, numerosas chispas se desarrollarían en la parte angosta del tubo"[17]. Inmediatamente después de la parte angosta, el mercurio salía en forma de vapor. La conclusión de Ørsted fue que "la chispa debe ser naturalmente considerada como la incandescencia del mercurio" [17]. Con la incandescencia como condición para lograr el efecto magnético deseado, pasó a la construcción del aparato de baldes de cobre, que fue con el que llevó acabo los experimentos a los que hace referencia en su facsímil en latín, que después eliminó al traducirlo al inglés.

En un congreso celebrado el 15 de noviembre de 1816, Ørsted y Esmarch presentaron los resultados de un proyecto acerca de "una idea que habían concebido con anterioridad" [18], respecto a un nuevo aparato galvánico. Los anteriores aparatos, señala Ørsted, consistían de una placa de zinc y una de cobre sumergidas en una solución determinada, las cuales estaban contenidas en una vasija de madera. La desventaja de la madera, dice Ørsted, era que rápidamente se saturaba por los ácidos, disminuyendo el efecto galvánico, a pesar de los diferentes barnices que se le aplicaran. Ørsted señala que una opción era usar porcelana en lugar de madera, lo cual mejoraría considerablemente el efecto, pero resultaba demasiado caro en aparatos de gran tamaño. La idea concebida por Ørsted y Esmarch fue que en vez de usar cualquier otro material para construir el balde, lo construyeran con la misma placa de cobre. En nota al pie, Ørsted señala que en Viena Fredrich Stadion había usado un aparato muy similar, pero que ellos al momento de su presentación no tenían noticias de ello.

Ørsted señala que aun cuando este aparato les dio buenos resultados, decidieron hacerle algunas modificaciones, ya que, como menciona en la descripción del aparato, se debía procurar que la soldadura no interrumpiera la conducción de la electricidad galvánica. La segunda modificación fue corregir el diseño que había entendido mal el artesano. Según comenta Ørsted, era más conveniente hacer el balde en forma rectangular, pero el artesano, por un malentendido en el diseño lo había hecho en forma cúbica. Una última modificación fue aumentar el tamaño del aparato en cuanto a la superficie de las placas, así como en el número de elementos que la conformaban.

Como se ha venido mencionando, se sabía que la *intensidad* de las cargas eléctricas que circulaban al interior de la pila voltaica se incrementaba con el número de placas,

mientras que la *cantidad* de flujo eléctrico que circulaba de uno a otro de los polos del aparato dependía de la extensión de la superficie de la placa. Bajo esta consideración, Ørsted hizo las siguientes modificaciones: aumentó la placa de zinc de 9 a 16 pulgadas cuadradas e incrementó el número de elementos de 6 a 12. Al final de sus experimentos incrementó el aparato galvánico a 48 elementos, en donde cada elemento estaba compuesto por un balde de cobre y una placa de zinc que se colocaba en su interior sumergida en una solución. Los elementos colocados en los extremos tenían un dispositivo para que se colocaran los alambres que iban conectados a los polos positivo y negativo del aparato, a los que Ørsted llamó alambres de conexión o alambres conectores, como se ha venido señalando. En el aparato de 48 elementos, los baldes de cobre eran colocados en dos filas, por lo que los dispositivos para los alambres de conexión eran colocados en los elementos más alejados. Un instrumento de estas características fue el que utilizó Ørsted en sus experimentos descritos en el reporte del 21 de julio de 1820 [1], el cual tenía las siguientes características:

> El aparato galvánico que empleamos consiste de veinte baldes rectangulares de cobre [receptaculis cupreis rectangularibus], cada uno de los cuales tiene doce pulgadas tanto de largo como de alto, pero cuyo ancho escasamente excede las dos y media pulgadas [9].

Tenemos así la primera parte del nuevo aparato galvánico creado por Ørsted: le faltaba el dispositivo por medio del cual se cerraba sobre sí mismo el circuito galvánico. De acuerdo con nuestro análisis, la creación de éste dispositivo derivó de sus experimentos sobre la conducción de la electricidad al interior de los cuerpos, específicamente sus experimentos con alambres metálicos. Estos experimentos estaban guiados por la hipótesis de la transmisión de la electricidad al interior de los cuerpos en forma ondulatoria, lo cual derivó en su teoría del conflicto eléctrico.

IV. TRANSMISIÓN DE LA ELECTRICIDAD EN ALAMBRES METÁLICOS

En un trabajo publicado en 1806, Ørsted establece las bases de su teoría del conflicto eléctrico, la cual fue tematizada en su trabajo de 1812. En el trabajo de 1806 señala que la transmisión se debía a una pequeña polaridad eléctrica en la que cada electricidad atraía hacia sí a su opuesto. Por lo tanto, dice Ørsted, se debe considerar la transmisión de la electricidad no de manera instantánea, sino como una alternancia en el tiempo, en donde las ondulaciones positivas y negativas ocupaban el espacio [19]. En los buenos conductores, dice, la velocidad de la electricidad "está por encima de una milla en menos de un segundo" por lo que a esta velocidad es imposible seguir la alternancia de las ondas positivas y negativas por medio del electrómetro.

Ørsted señala que en los buenos conductores, debido a la infinitesimalmente pequeña alternancia de ondulaciones positivas y negativas, no podía ser detectada por este aparato y tampoco podía ser confirmada experimentalmente, pero podía ser calculada matemáticamente. Pensaba que se trataba de un problema metodológico de falta de instrumentos para su detección, cuando en realidad se trataba del trascendental paso de la electrostática a la electrodinámica y con ello el arribo al concepto de corriente eléctrica. En el caso de la electrostática, el flujo continuo de las cargas al interior del aparato se manifestaba en el exterior con la descarga eléctrica a través de los alambres conectores colocados en los extremos del alambre conductor. En el caso de la electrodinámica, al ser utilizados alambres metálicos con buena conducción de la electricidad, el flujo continuo de las cargas al interior del aparato se continuaba hacia el exterior desapareciendo la descarga.

Todo parece indicar que de 1806 a 1820 Ørsted no se imaginaba que la conversión del conflicto eléctrico en corriente eléctrica, que marcó el paso de la electrostática a la electrodinámica, estaba determinado por la velocidad en la alternancia de las ondulaciones positivas y negativas. La hipótesis en este artículo es que se lo empezó a imaginar cuando tradujo al inglés su trabajo en latín, en donde cambió en el título *conflictus electrici* por *current electricity*. Sin embargo, Ørsted optó por la demostración experimental de su teoría del conflicto eléctrico. El planteamiento de Ørsted acerca de la velocidad de transmisión de la electricidad en forma ondulatoria, que por cierto está muy por encima de la milla por segundo como él lo señaló, era que las ondulaciones podían ser detectadas por los trazos que dejaban en su transmisión:

> Es suficiente tratar de derretir un largo alambre de hierro con una débil carga de la batería eléctrica. Puede ser rápidamente visto ahí solamente algunas partes derretidas mientras otras permanecen intactas, y que las partes derretidas y las no derretidas alternan. Si una fuerte carga es aplicada, el alambre no se derrite en toda su longitud, sino en *forma de cuentas*: con alternancia de *zonas contraídas y expandidas*. Es también posible encontrar una carga intermedia por la cual el metal se pone incandescente sin derretirse. En tal caso alternancias muy visibles de zonas expandidas y contraídas del alambre son encontradas. Todos esos experimentos son ya familiares a la mayoría de los físicos y son la más fuerte evidencia de la diseminación ondulatoria de la electricidad [19].

En otro experimento de gran simbolismo imaginativo, Ørsted supuso que si se incrementaba la carga de la batería, al grado de que el alambre metálico se evaporara, si éste vapor metálico se condensara parcialmente sobre un pedazo de papel, la nube de vapor presentaría expansiones y contracciones alternando con regularidad. El experimento, dice Ørsted, se puede llevar a cabo tan frecuentemente como uno lo desee y con cualquier metal, cambiando solamente si la fuerza aplicada para producir la evaporación del alambre

es desproporcionadamente larga. En tal caso, dice, no se presentan ondulaciones, sino dobleces en zig-zag. Con el objetivo de señalar la convergencia de sus experimentos en las dos líneas de investigación señaladas, en 1817 llevó a cabo diversos experimentos en los que se presenta la combinación entre la intensidad de los aparatos galvánicos y la capacidad de conducción de dicha electricidad en los diversos alambres metálicos que eran utilizados como medio conductor.

Utilizó entonces alambres de hierro, acero y platino, para pasar de la incandescencia a su derretimiento, y de éste a la evaporación, dado que no se requería de un aparato con un efecto tan intenso como el que se requería al utilizar mercurio como medio conductor. Para lograr la incandescencia y la evaporación del mercurio, dice Ørsted, se requería un gran incremento en la intensidad del aparato, mientras que utilizando alambres metálicos la intensidad dependía del diámetro y la longitud del alambre.

En los experimentos que acabamos de ver, una débil carga derretiría parcialmente un largo alambre de hierro, mientras un gran incremento en la carga evaporaría el alambre. En cambio, como dice Ørsted, si se aplica una fuerte carga se derretiría el alambre en su totalidad, mientras que con una carga intermedia sólo alcanza la incandescencia. En este caso, la incandescencia era el punto previo al derretimiento del alambre, que era cuando se podían apreciar las ondulaciones. Fue en experimentos posteriores cuando Ørsted buscó el efecto magnético a través de la incandescencia de un alambre metálico después de sus experimentos en los que utilizó como medio conductor el mercurio. Ya se sabía desde entonces, como hasta la fecha, que las descargas de las máquinas y las baterías eléctricas, así como de la pila voltaica eran en forma de chispa.

Con esta base, por medio de descargas eléctricas producidas artificialmente se había demostrado que la chispa producida por las descargas eléctricas producía la magnetización de agujas de hierro. También se había producido la declinación experimental de agujas magnéticas, y se había provocado el cambio de polaridad de las agujas de las brújulas. No es sorprendente entonces que Ørsted buscara crear la declinación de una aguja magnética por medio de la incandescencia del alambre metálico, ya que la incandescencia del mercurio era en forma de chispa. El argumento de Ørsted era que la incandescencia la provocaba el conflicto eléctrico debido a la oposición de los cuerpos a la transmisión de la electricidad en su interior.

En este punto se invita a la reflexión epistemológica sobre la teoría del conflicto eléctrico de Ørsted, que como se acaba de señalar consiste en la resistencia de los cuerpos a la transmisión de la electricidad en forma ondulatoria en el interior de los mismos. Se invita a la reflexión, ya que aun cuando Ørsted no lo hace explícito, el conflicto eléctrico fue el antecedente del concepto de corriente eléctrica que en ese entonces no existía. El hecho de cambiar el concepto de conflicto eléctrico por el de corriente eléctrica al traducir su trabajo del latín al inglés, no implica que lo haya propuesto como un nuevo concepto en ciencia. La teoría de Ørsted del conflicto eléctrico puede ser conceptuada como corriente eléctrica, si se hace referencia a ella como la teoría de la transmisión ondulatoria de la electricidad como atracciones y repulsiones, en donde la velocidad y tamaño de la alternancia depende del medio conductor para que la transmisión ondulatoria sea imperceptible. Sin embargo, para Ørsted, en los buenos conductores la alternancia "infinitesimalmente pequeña" de las ondulaciones hacían que desapareciera el conflicto eléctrico, debido a que la alternancia de las ondulaciones se volvía imperceptible. Sin embargo ahora sabemos que se convirtió en la corriente eléctrica, la cual producía el tan buscado efecto magnético producido por la electricidad.

El proceso psicogenético de su trabajo experimental se hace explícito ya que para Ørsted los alambres que eran malos conductores de la electricidad, los cuales se derretían e incluso se evaporaban con facilidad, era en los que desaparecía también la alternancia de las ondulaciones, por lo que el punto medio era la incandescencia. Ørsted con sus experimentos no logró producir un efecto magnético a través de la incandescencia, ya que para él el problema era que el efecto magnético era muy débil. Su gran sorpresa fue que en los alambres que no se derretían o se evaporaban y tampoco en los que no alcanzaban la incandescencia se presentó el efecto deseado: la producción de magnetismo por medio de la electricidad, o bien que la electricidad se comportara como si fuera un imán. Este comportamiento que buscaba Ørsted, es considerado como un proceso psicogenéticas de su trabajo experimental, por lo que se considera como un origen cognitivo-psicológico de la nueva teoría electromagnética.

Se trata de la tesis general que se sustenta en este artículo, la creación simultánea de un nuevo instrumento y un nuevo fenómeno en ciencia, en donde el aparato galvánico en el que los alambres que estaban conectados a los polos positivo y negativo del aparato (los alambres conectores) a través de los cuales se conducía la descarga, quedaron unidos al alambre que servía de medio conductor de las descargas (el alambre conductor), formando uno solo alambre que cerraba el circuito de corriente sobre sí mismo.

Este cambio que fue trascendental, lo convirtió en un aparato completamente diferente a la pila voltaica, el cual dio origen a la producción de un efecto magnético debido al flujo continuo de las cargas eléctricas. No es entonces trivial decir que con la creación de la pila de Volta se logró la producción continua de electricidad, mientras que con el aparato galvánico de Ørsted se logró el flujo continuo de las cargas eléctricas, con lo que a su vez se logró la producción artificial del magnetismo, que es a lo que se les invita a reflexionar.

V. UN NUEVO INSTRUMENTO Y UNA NUEVA TEORÍA

En su trabajo Thermo-electricity, publicado en 1830, Ørsted hace un recuento histórico de su descubrimiento. Ahí señala que en el invierno de 1820 "supuso que se requería un

poder, que debía ser suficiente para lograr la incandescencia en el alambre conductor". El plan del primer experimento, fue "hacer que el flujo de un pequeño aparato galvánico de baldes, comúnmente usado en sus cátedras, pasara a través de un muy pequeño alambre de platino, el cual fue colocado sobre una brújula cubierta con un vidrio" [6]. Ørsted continúa su relato acerca del plan de su primer experimento señalando que se hizo la preparación, pero que un "accidente" le impidió realizarlo ante los estudiantes de su cátedra, por lo que lo pospuso para un mejor momento, el cual duró tres meses. Ørsted no da mayor explicación, sólo la siguiente reflexión, la cual, como es común en sus escritos, la expresaba en tercera persona del singular:

> Puede parecer extraño que el descubridor [sic] no hizo más experimentos sobre el tema durante tres meses; él mismo se dio cuenta de que era completamente difícil concebirlo; por lo extremadamente débil y la aparente confusión del fenómeno en el primer experimento, el recuerdo de numerosos errores cometidos sobre el tema por los primeros filósofos, particularmente su amigo Ritter, las afirmaciones sobre la materia que habían sido tratadas con extrema atención, pueden haber determinado a que dejara a un lado sus investigaciones para un momento más conveniente [6].

Los errores cometidos por otros filósofos, a los hace referencia Ørsted, entre ellos su amigo Ritter, en este artículo no son considerados como fenómeno social, sino como procesos cognitivos individuales de búsqueda de explicación a ciertos fenómenos de la naturaleza: búsqueda de nuevo conocimiento. Se propone entonces como un proceso psicogenético o de búsqueda cognitiva individual: un origen cognitivo-psicológico de nuevas conjeturas sobre la realidad, lo cual le da un carácter epistemológico a dichos procesos psicológicos. Su relato acerca de la confusión del fenómeno y las afirmaciones en contra que lo llevaron a considerar que el fenómeno era completamente difícil de concebir, hacen pensar que en realidad sí llevó a cabo el experimento, pero por el resultado obtenido prefirió esperar.

Sin embargo, eso sería un juicio meramente psicológico acerca de lo que hizo o dejó de hacer Ørsted en esos tres meses. Por el contrario, lo que aquí interesa es hacer una reconstrucción epistemológica de los experimentos a los que hace referencia en su facsímil el latín y los eliminó al traducirlo al inglés. En el mismo trabajo sobre Termo-electricidad, Ørsted señala que en el mes de julio de 1820 continuó sus experimentos, pero con un aparato galvánico de mayor intensidad, empleando igualmente alambres muy delgados. El supuesto del que partía Ørsted, como ya se ha mencionado, era que el alambre tenía que alcanzar la incandescencia para que se produjera algún efecto sobre la aguja magnética. Sin embargo, refiriéndose a él mismo en tercera persona dice: "pronto se dio cuenta de que los conductores de un mayor diámetro producían un mayor efecto" [6].

Sin embargo, a solo unos meses de la publicación de su reporte en latín, en un trabajo titulado *Observation on Electro-magnnetism*, publicado igualmente en *Annals of Philosophy*, Ørsted [20], señala que insertó en el lugar bajo el cual la aguja magnética fue situada, un muy fino alambre de platino entre los alambres conectores (los que están conectados a cada uno de los polos del aparato). Sin embargo, el relato más cercano acerca de lo que lo pudo haber llevado a la conclusión de que el circuito galvánico tenía que estar cerrado (de acuerdo con la reconstrucción epistemológica propuesta en este artículo), tuvo como base los trabajos presentados por Ørsted en los congresos celebrados el 5 de enero y el 6 de abril de 1820, que posteriormente publicó como *Note on the Discovery of Electromagnetism*. En ese trabajo Ørsted señala que:

> [Ørsted] descubrió que los conductores que conectaban los dos polos opuestos de un circuito galvánico, en los cuales todos los efectos que pudieran ser detectados por cualquier tipo de electrómetro habían desaparecido, ejercían un poderoso efecto complementario, por el cual se ponía en movimiento a una aguja magnética" [18].

Al desaparecer los efectos detectados por el electrómetro, la primera explicación de Ørsted fue que desaparecía el conflicto eléctrico, lo cual pone de relieve la propuesta de un proceso psicogenético. La explicación posterior de Ørsted fue que el conflicto eléctrico y el calor producido por su transmisión al interior de los cuerpos estaban tan mezclados que escapaban a toda observación, como su detección por medio del electrómetro. Así, bajo este estado de perfecto equilibrio, como lo define Ørsted, el conflicto eléctrico no desaparecía, sino ejercía un poderoso efecto complementario. Pasaba de ser una transmisión de la electricidad al interior del alambre conductor en forma de ondulaciones "infinitesimalmente" pequeñas, a un efecto magnético a su alrededor del mismo debido al flujo continuo de las cargas. Fue así como se creó el dispositivo que cerraba el circuito, con la unión de los alambres conectores y el alambre conductor, formando un solo alambre que cerraba el circuito sobre sí mismo, al que llamó alambre conductor de conexión.

> Los extremos opuestos del aparato galvánico están conectados por un alambre metálico, el cual, para abreviar, de aquí en adelante le llamaremos el *conductor de conexión* [conductorem conjungentem] o el *alambre de unión* [filum conjungens]. De esta manera, el efecto que tiene lugar en ese conductor y en el espacio a su alrededor lo llamaremos el conflicto eléctrico [1, 9].

Al cerrar el circuito no desaparecía el conflicto eléctrico: se creaba un flujo continuo de las cargas que era lo que producía el efecto magnético. Se trata de la transformación del conflicto eléctrico en el concepto de corriente eléctrica,

que dio origen al electromagnetismo. Como se acaba de mencionar, Ørsted pensaba que se trataba de un problema metodológico de falta de un instrumento que midiera "lo que dejaba de medir" el electrómetro. Ørsted no se imaginó en ese momento (y cómo se lo iba a imaginar), que la brújula que utilizó en sus experimentos era un galvanómetro que medía el movimiento de la electricidad galvánica al interior del alambre.

Se puede decir entonces que la diferencia entre un buen conductor y un mal conductor de la electricidad galvánica, era la velocidad de transmisión de las ondulaciones positivas y negativas en su atracción mutua. De esta manera, la diferencia entre el conflicto eléctrico y la corriente eléctrica era la velocidad de transmisión de las cargas, que es un planteamiento no aparece de manera explícita en ninguno de los relatos de Ørsted. Sin embargo, Ørsted los utilizó como sinónimos.

Como se mencionó anteriormente, en la traducción al inglés realizada por el propio Ørsted de su facsímil original en Latín, cambió el título *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum* magneticam [1, 7] por el título *Experiments on the effect of a current of electricity on the magnetic needle*, publicado en octubre del mismo año en el volumen 16 de *Annals of Philosophy* [2, 8]. De esta manera, el *conflictus electrici* se transformó en *current of electricity*, que de ninguna manera es un problema de traducción, como se ha mencionado en trabajos anteriores [5, 11]. En el marco del proceso psicogenético, la configuración imaginaria de una realidad posible, en este caso la posibilidad de producir un efecto magnético por medio de la incandescencia de un alambre metálico, fue configurada en el diseño experimental que acabamos de describir.

De ninguna manera se trata de imágenes extraídas de la nada o de la realidad misma: derivan de la configuración imaginaria de una realidad posible que buscaba hacerse realidad a través de los experimentos. Las propiedades que determinaban que la incandescencia de un alambre metálico se comportara como un imán, derivó de sus experimentos acerca de la transmisión de la electricidad a través de diversos metales. Sin embargo, la realidad impone restricciones y el efecto magnético producido por la incandescencia de un alambre metálico nunca llegó a su materialización.

La reconstrucción epistemológica que en este artículo se propone como un proceso psicogenético de su trabajo experimental, es que Ørsted tuvo que haber entrado en un debate con la realidad al ver que no era la incandescencia del alambre lo que producía el efecto magnético. Más aún, al darse cuenta de que el conflicto eléctrico desaparecía al desaparecer la incandescencia, Ørsted no tenía argumentos explicativos. Su configuración imaginaria de la realidad ahora dependía de la estrecha relación entre sus acciones materiales sobre la realidad exterior y de la prolongación de dichas acciones como acciones evocadas. Desde el punto de vista psicogenético, sus acciones materiales lo llevaron a colocar en los extremos del alambre conductor de la electricidad, los alambres que estaban conectados a los polos positivo y negativo de su aparato galvánico, a fin de producir su incandescencia. Sin embargo, la incandescencia del fino alambre de platino producía un débil efecto magnético. Buscando mayor incandescencia utilizó alambres de mayor calibre, pero su sorpresa fue que los alambres de mayor calibre presentaban menor incandescencia, pero el efecto magnético aumentaba. Un punto psicogenético crucial se presentó en su trabajo experimental cuando Ørsted prolongó sus acciones materiales en acciones evocadas, lo cual se reflejó en la creación de la configuración imaginaria en la que los alambres que estaban conectados a los polos positivo y negativo del aparato galvánico quedaban unidos al alambre conductor de la electricidad formando un solo alambre "conector conductor".

De esta manera, la nueva configuración imaginaria de la realidad se debió al encuentro de las acciones materiales de la experiencia práctica y las acciones evocadas de la experiencia simbólico-imaginativa, que son la base de la propuesta de una epistemología de la imaginación. Esta configuración imaginaria fue desplegada hacia el exterior en la confección de la unión de los alambres conectores de los polos positivo y negativo del aparato y el alambre conductor de la electricidad como un solo alambre. Como se acaba de mencionar, en su trabajo original en latín Ørsted llamó a dicha unión *conductores conjungentem* o *filum conjungens*. Fue así que Ørsted llegó a la conclusión de que el efecto magnético lo producía un circuito cerrado, no uno abierto: *idque circulo galvanico cluso, non aperto* [1], que es como inicia el artículo.

Para la epistemología de la imaginación, las acciones materiales de la experiencia práctica y las acciones operatorias consideradas como la experiencia formal de estructuración en el pensamiento, son interrelacionadas con las acciones evocadas de la experiencia simbólico-imaginativa. De esta manera, estos tres tipos de acciones quedaron contenidas en el nuevo aparato galvánico como una extensión de dichas acciones cognitivas. En el sentido filosófico de extensión, las acciones cognitivas pasaron a ocupar un lugar en el espacio al quedar contenidas en el nuevo instrumento, en el marco de un proceso psicogenético. Como extensiones de las acciones son obras materiales del entendimiento, entendiendo por tal la unión de los tres conjuntos de estructuras cognitivas que conforman a todo sujeto cognoscente. Bajo este marco, el cambio teórico en ciencia se propone como un proceso individual que se socializa, o bien como un proceso psicogenético que se transforma el socio-genético.

VI. CONCLUSIONES

El aparato galvánico creado por Ørsted no es una pila voltaica mejorada a la que se le cerró el circuito: es un nuevo que dio origen a una nueva teoría. Tanto los físicos [21], como los historiadores de la ciencia [22], han abordado el tema de la electrostática y la electrodinámica a partir de Ampere, no dando crédito alguno a Ørsted en dicho cambio teórico. Con su nuevo aparato galvánico logró Ørsted el flujo continuo de las cargas, que como vimos en el cuerpo de este texto, él lo empezó a intuir desde el cambio

del título. Sin embargo, se le atribuye a Ampere el haber sido el creador del concepto de corriente eléctrica, lo cual refuta Theodore Brown [23]. Brown señala que Ampere conocía desde 1813 la propuesta de Ørsted, que fue cuando se tradujo al francés su libro de 1812, en el que plantea su teoría del conflicto eléctrico [10].

El nuevo instrumento es un aparato galvánico de baldes de cobre, Copper Troughs Galvanic Apparatus, como lo tradujo el propio Ørsted para su publicación en la revista Annals of Philosophy en octubre de 1820 de su trabajo original en Latín del 21 de julio del mismo año. En sus trabajos posteriores se refiere a su nuevo instrumento simplemente como Galvanic Trough Apparatus. El nombre que le dio Ørsted en su trabajo original en Latín [1] fue Apparatus galvanicus receptaculis cupreis rectangularibus.

El aparato galvánico de baldes de cobre como un nuevo instrumento científico, tuvo su origen en el propio diseño experimental, dando origen a su vez a un nuevo fenómeno: un efecto magnético producido por el flujo de las cargas eléctricas. Se trata

El análisis psicogenético del trabajo experimental de Ørsted realizado desde la epistemología de la imaginación, es que, guiado por la experiencia simbólico-imaginativa, mediante acciones evocadas, Ørsted creó la configuración imaginaria del comportamiento del nuevo fenómeno, el cual trascendía su transmisión al interior del alambre metálico. De lo que se trataba entonces, era de establecer las propiedades del efecto magnético producido por la corriente eléctrica en el espacio circunyacente del alambre. Una vez creado el nuevo instrumento, al manipularlo Ørsted manipulaba el nuevo fenómeno magnético que producía el flujo de las cargas eléctricas de un polo al otro del aparato. Ahora las acciones evocadas de la experiencia simbólico-imaginativa configuraban, por medio de imágenes mentales el comportamiento del nuevo fenómeno al coordinar y organizar sus acciones materiales sobre la realidad exterior mediante acciones operatorias.

Esta es mi propuesta de la forma en la que trabajan coordinadamente los tres conjuntos de estructuras de acciones cognitivas que conforman a todo sujeto cognoscente. Respecto a la forma en la que trabajan coordinadamente las estructuras del sujeto cognoscente para conformar al sujeto epistémico, se plantea como la relación interindividual de los sujetos cognoscentes a través de la experiencia simbólico-imaginativa. Su formalización matemática inició casi de inmediato, sin embargo, su formalización socialmente aceptada, que es ya la conformación del sujeto epistémico fue un periodo que se llevó cuatro décadas más. En este trabajo se aborda apenas el primer año de trabajo experimental de las cinco décadas que hay entre el trabajo de Ørsted y el de Maxwell. En resumen, se aborda sólo el trabajo del sujeto cognoscente y su relación interindividual, lo cual no implica que no se tenga interés en el sujeto epistémico.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue realizado en el marco de los proyectos de investigación SIP 20160778 del Instituto Politécnico Nacional y DGAPA-PAPIIT IN402515 de la Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS

[1] Ørsted, H. C., *Experimenta Circa Effectum Conflictus Electrici in Acum Magneticam*. (Facsímil Original 1820), <http://www.ampere.cnrs.fr/ice/ice_page_detail.php?lang=fr&type=img&bdd=ampere&table=ampere_text&bookId=63&typeofbookDes=Textessci&pageOrder=4&facsimile=on&search=no>, consultado el 05 de agosto de 2008.

[2] Ørsted, H. C., *Experiments on the Effect of the Electric Conflict on the Magnetic Needle*. Annals of Philosophy **XVI**, 273-6 (1820). <http://www.biodiversitylibrary.org/item/53906#page/12/mode/1up>, consultado el 05 de noviembre de 2012.

[3] Jelved, K., Jackson, A. D. & Knudsen, O., *Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted*. Jackson, A. D. & Knudsen, O., Traductores y Editores, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1998).

[4] Mayer Ch. *Ørsted, Hans Christian Scientific Papers*, (Copenhagen, 1920) in Danish, 3 volumes.

[5] Rodríguez-Salazar, L. M., *Epistemología de la imaginación*, El trabajo experimental de Ørsted, (Corinter, México, 2015).

[6] Ørsted, H. C. *Thermo-electricity*. In Jelved, K., Jackson, A.D. & Knudsen, O., Traductores. y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1830, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1998), pp. 542-580.

[7] Sarton, G., *Experimenta Circa Effectum Conflictus Electrici in Acum. Magneticam*. Facsimile 1820. In The foundation of electromagnetism. Isis **10**, 437-440 (1928).

[8] Sarton, G. Experiments on the Effect of the Electric Conflict on the Magnetic Needle. Facsimile (1820). In The foundation of electromagnetism. Isis **10**, 441-444 (1928).

[9] Ørsted, H. C., *Experiments on the Effect of the Electric Conflict on the Magnetic Needle*. In Jelved, K., Jackson, A. D. & Knudsen, O., Traductores y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1820, (Princeton, New Jersey, U.S.A.: Princeton University Press, 1998), pp. 413-416.

[10] Ørsted, H. C. View of the Chemical Laws of Nature Obteined Through Recent Discoveries. In K. Jelved, A.D. Jackson & O. Knudsen, Traductores y Editores. *Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted*, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, U.S.A, 1812), pp. 310-392.

[11] Rodríguez-Salazar, L. M. *Física, Química, Sociología y Metafísica en la Experimentación Indagatoria: reivindicando a Ørsted en su primer bicentenario*, Intersticios Sociales, número 6, ISSN 207-4964 (2013).

[12] Ørsted, H. C. *Experiments and Observations Concerning Galvanic Electricity*, In Jelved, K., Jackson, A. D. & Knudsen, O., Traductores. y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1801, (Princeton

University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1998), pp.101-103.
[13] Ørsted, H. C. *An Addendum by Dr. Ørsted to His Remarks on Galvanism*. In K. Jelved, A.D. Jackson & O. Knudsen, Traductores y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1801, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1998), pp. 104-105.
[14] Ørsted, H. C., *Continued Experiments on Galvanism*, In Jelved, K., Jackson A. D. & Knudsen, O., Traductores. y Editores, 1998. Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1801, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA,1801), p. 106.
[15] Ørsted, H. C. *Galvano-Chemical Observations.* In K. Jelved, A.D. Jackson & O. Knudsen, Traductores. y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1804, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, U.S.A, 1998), pp. 168-169.
[16] Dibner, B., *Oersted and the Discovery of Electromagnetism*, (Blaisdell Publishing Company, New York, 1962).
[17] Ørsted, H. *C. Observations Regarding Contact Electricity*. In Jelved, K., Jackson A. D., & Knudsen, O., Traductores. y Editores. Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted, 1817 (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1998), pp. 402-406.
[18] Ørsted, H. C. *Note on the Discovery of Electromagnetism*. InJelved, K., Jackson, A. D. & Knudsen, O., Traductores. y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1820-1821, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1998), pp. 425-426.
[19] Ørsted, H. C. *On the Manner in Which Electricity Is Transmitted (A Fragment)*. In Jelved, K., Jackson, A. D. & Knudsen, O., Traductores. y Editores, Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted 1806, (Princeton, New Jersey, U.S.A.: Princeton University Press, 1998), pp. 210-214.
[20] Ørsted, H. C., *Observations on Electro-magnetism.* In Jelved, K., Jackson, A. D. & Knudsen, O., Traductores. y Editores, 1998. Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted, (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, U.S.A, 1821), pp. 430-445.
[21] Darrigol, O., *Electrodinamics: from Ampère to Einstein*. (Oxford University Press, New York, 2000).
[22] Hofmann, J., *Ampère, electrodynamics and experimental evidence*. Osiris, *3*, 45-76 (1987).
[23] Brown, T. *The electric current in early 19th century*. French Physics. Historial Studies in the Physical Sciences **I**, 61-103 (1969).